

# Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang aluminium

Djoko Untoro Suwarno<sup>1,a)</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Sanata Dharma Yogyakarta  
Kampus Paingan, Maguwoharjo Sleman 55284  
Indonesia

<sup>a)</sup>joko\_unt@usd.ac.id (corresponding author)

## Abstrak

*Telah dilakukan percobaan untuk melihat fenomena getaran osilasi teredam dengan menggunakan batang kayu yang diberi magnet dan batang aluminium. Magnet dan aluminium berfungsi sebagai peredam dengan fungsi jarak. Magnet yang bergerak menimbulkan efek arus eddy pada batang aluminium dan berakibat memperlambat osilasi pada batang kayu. Variasi jarak antara batang kayu yang diberi bandul magnet dengan batang aluminium mulai dari 20 mm sampai 0 mm. Analisis data dilakukan dengan menggunakan tracker video. Hasil yang diperoleh yaitu terjadi getaran osilasi yang teredam kritis pada jarak 2mm. Jarak lebih dari 2mm akan mengakibatkan osilasi kurang teredam, sedangkan jarak kurang dari 2 mm berakibat osilasi teredam lebih.*

*Kata-kata kunci: getaran osilasi; pendulum; teredam kritis; tracker video*

## PENDAHULUAN

Ayunan fisis atau pendulum merupakan salah satu fenomena dalam pelajaran fisika yang menunjukkan gerakan osilasi. Melalui ayunan fisis dapat dihitung atau diukur perioda getaran sebagai fungsi panjang tali ayunan dan percepatan gravitasi. Secara ideal pendulum akan berosilasi dengan amplitudo yang tetap, namun pada kenyataannya pendulum akan mengalami redaman. Pengukuran redaman pada pendulum sederhana dilakukan oleh Limiansih dkk [1] dengan menggunakan bantuan peralatan tracker video. Hasil yang diperoleh untuk massa yang sama penurunan amplitudo berbanding terbalik dengan massa beban.

Pengamatan dan pengukuran gerakan yang cepat sukar diamati secara langsung oleh mata kita. Melalui bantuan perekam video dan program aplikasi tracker video [2] dimungkinkan dan dimudahkan untuk melakukan analisis terhadap gerakan yang cepat. Berbagai video pendulum disajikan oleh Jit Ning [3] dalam forum *Open Source Physics* memudahkan pada pemakai untuk melakukan analisis pada pendulum. Magnet yang dijatuhkan pada pipa tembaga menunjukkan gejala perlambatan seperti yang dilakukan oleh Jae-sung dkk [4].

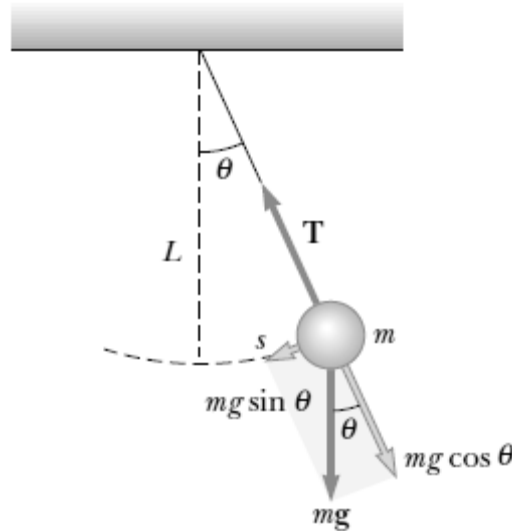
Permasalahan yang muncul pada pengukuran redaman pendulum yaitu mekanisme untuk mengubah redaman sehingga didapatkan berbagai jenis redaman pada gerakan osilasi. Berbagai redaman pada osilasi antara lain getaran osilasi yang tidak teredam, osilasi kurang teredam, teredam kritis dan teredam lebih.

Pada makalah ini akan dibahas tentang perlambatan atau redaman yang terjadi pada pendulum batang dengan menggunakan magnet dan batang aluminium.

## PENDULUM TALI DENGAN BANDUL

### Pendulum Sederhana

Pendulum terdiri dari bandul dengan massa  $m$  digantungkan dengan tali dengan panjang  $L$  seperti terlihat pada **Gambar 1**



Gambar 1. Ayunan sederhana [5]

Persamaan matematis dari ayunan fisis diberikan pada persamaan (1)

$$F_t = -mg \sin \theta = m \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (1)$$

Dengan  $F_t$  merupakan gaya pada bandul (N),  $m$  merupakan massa bandul (kg),  $g$  = gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) dan  $\theta$  sudut (rad) yang terjadi antara garis normal dengan bandul, sedangkan  $L$  merupakan panjang tali pada bandul (m).

Untuk sudut yang cukup kecil diperoleh  $\sin \theta \approx \theta$  dan  $s = \theta L$  maka persamaan (1) dapat disederhakan menjadi

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \theta \quad (2)$$

Penyelesaian persamaan (2) secara umum diperoleh  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$  (3)

Dengan  $\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ (rad / s)}$

Perioda pendulum dapat dituliskan pada persamaan berikut

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (4)$$

### Pendulum dengan redaman

Redaman pada pendulum merupakan fungsi kecepatan seperti disajikan pada persamaan (5) berikut :

$$f = b.v = bL \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

Persamaan lengkap untuk pendulum dengan redaman diberikan pada persamaan (6) berikut

$$Ft = -mg \sin \theta - bL \frac{d\theta}{dt} = mL \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (6)$$

persamaan (6) disusun ulang menjadi persamaan (7) berikut ini

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{d\theta}{dt} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (7)$$

Pendulum dapat dituliskan dalam persamaan orde dua seperti persamaan (8) berikut :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (8)$$

Persamaan (8) memiliki akar-akar karakteristik sebagai berikut

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4mk}}{2m} \quad (9)$$

Ada tiga kategori untuk karakteristik akar-akarnya yaitu

- akar-akarnya berupa bilangan real dengan syarat  $b^2 > 4mk$  , sistem dikatakan kurang teredam
- berupa akar kembar  $b^2 = 4mk$  , sistem dikatakan teredam kritis
- akar-akarnya berupa bilangan imajiner bila  $b^2 < 4mk$

Penyelesaian umum persamaan orde dua bila sistem kurang teredam diberikan pada persamaan (10) berikut ini

$$x(t) = c_1 \exp(-bt/2m) \cos(\omega_d t) + c_2 \exp(-bt/2m) \sin(\omega_d t) \quad (10)$$

atau dalam bentuk lain diberikan pada persamaan berikut ini

$$\begin{aligned} x(t) &= \exp(-bt/2m) (c_1 \cos(\omega_d t) + c_2 \sin(\omega_d t)) \\ &= A \exp(-bt/2m) \cos(\omega_d t - \varphi) \end{aligned} \quad (11)$$

Penyelesaian umum sistem teredam lebih menghasilkan dua akar real yang berbeda disajikan pada persamaan (12) berikut ini

$$x(t) = c_1 \exp(-r_1 t) + c_2 \exp(-r_2 t) \quad (12)$$

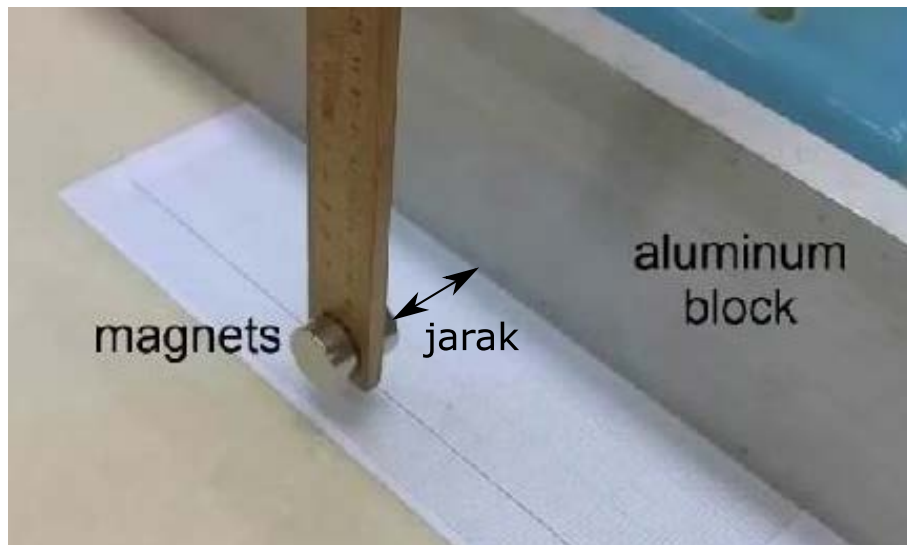
Penyelesaian umum sistem teredam kritis dengan akar kembar  $-b/2m$ ,  $-b/2m$  diberikan pada persamaan (13) berikut ini

$$x(t) = (c_1 + c_2 t) \exp(-bt/2m) \quad (13)$$

## METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan terdiri atas penggaris kayu, sepasang magnet neodmium, balok aluminium, kertas milimeter dan perekam video, serta software aplikasi Tracker video ver 4.87 seperti terlihat pada Gambar 2. Software aplikasi Tracker merupakan tool yang freeware yang dikembangkan oleh [www.openphysics.org](http://www.openphysics.org)

Penggaris kayu digantung pada bagian lubang di sebelah atas dan magnet dipasang pada kedua sisi bagian dan berfungsi sebagai beban. Balok aluminium dapat diatur jaraknya terhadap magnet pada penggaris. Aluminium yang dipakai dengan panjang melebihi simpangan maksimum dari ayunan. Jarak aluminium dengan magnet diatur mulai dari 20 mm sampai 0 mm.

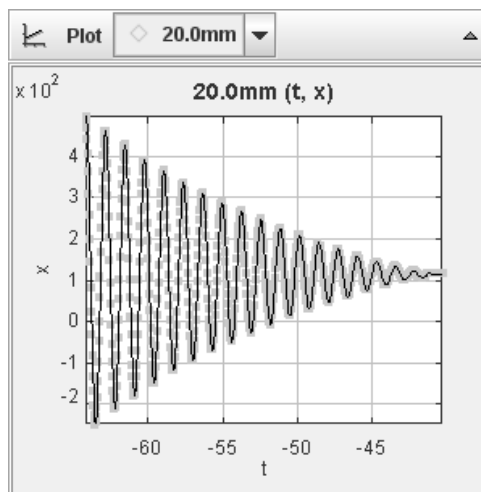


Gambar 2. setup percobaan ayunan teredam [2]

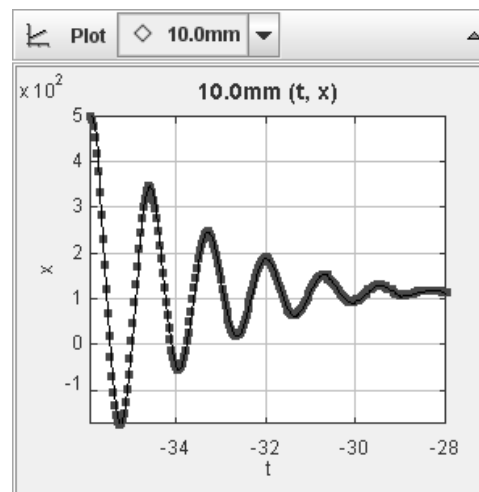
Variasi jarak mulai dari 20mm, 10mm, 8mm, 6mm, 4mm, 2mm, 1,5mm, 1mm, 0,5mm dan 0mm. Pendulum digerakkan dengan simpangan 5cm. Gerakan pendulum yang berosilasi direkam dengan menggunakan perekam video. Tracker video dipakai untuk mencari posisi ayunan arah horisontal terhadap waktu dan dilakukan analisis untuk mendapatkan redaman kritis pada sistem. Pengambilan data dilakukan menggunakan tracker video dan dilakukan penandaan posisi bandul untuk setiap frame. Hasil penandaan posisi disajikan dalam bentuk grafik. Pengolahan data dan penyajian data dalam bentuk grafik dilakukan dengan menggunakan aplikasi EXCEL.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

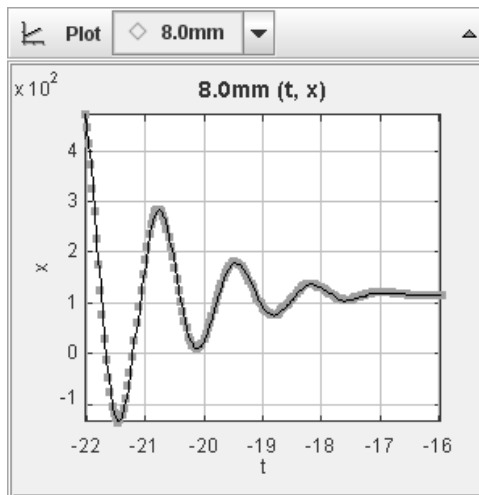
Dari percobaan diperoleh data seperti pada gambar 3 sampai gambar 8 berikut :



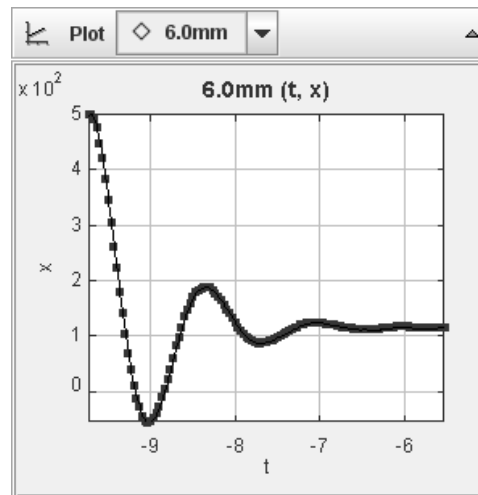
Gambar 3. Getaran osilasi dengan jarak 20mm



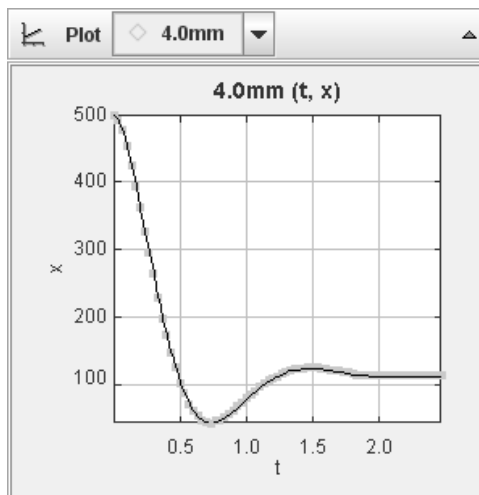
Gambar 4. Getaran osilasi dengan jarak 10mm



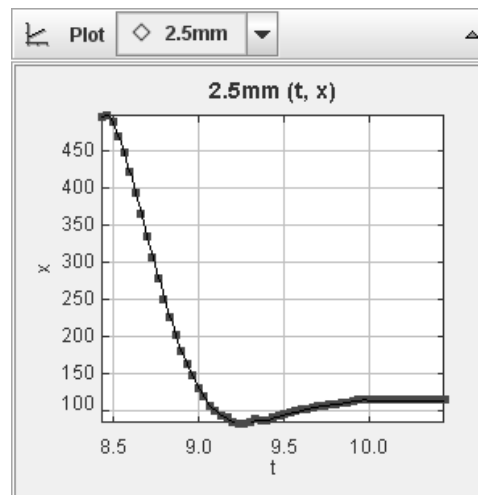
Gambar 5. Getaran osilasi dengan jarak 8mm



Gambar 6. Getaran osilasi dengan jarak 6mm



Gambar 7. Getaran osilasi dengan jarak 4mm



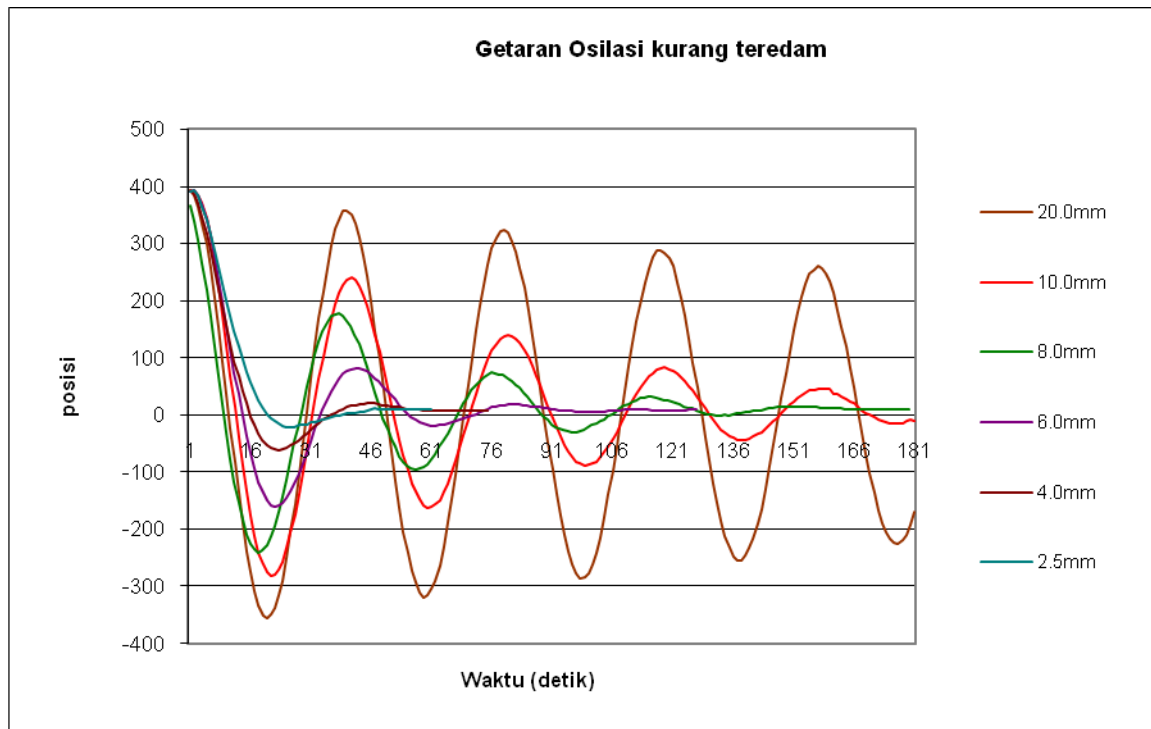
Gambar 8. Getaran osilasi dengan jarak 2,5mm

Respons pendulum pada jarak 20mm (gambar 3) sampai jarak 6mm (gambar 8) menunjukkan getaran osilasi yang kurang teredam. Hal ini terlihat ada beberapa gelombang yang terjadi sebelum akhirnya menjadi berhenti. Getaran yang kurang teredam salah satu cirinya terjadi lewat lebih (*overshoot*). Simpangan yang terjadi pada getaran yang kurang teredam tidak sama untuk amplitudo sebelumnya. Semakin kecil simpangan berikutnya, getaran akan semakin cepat habis.

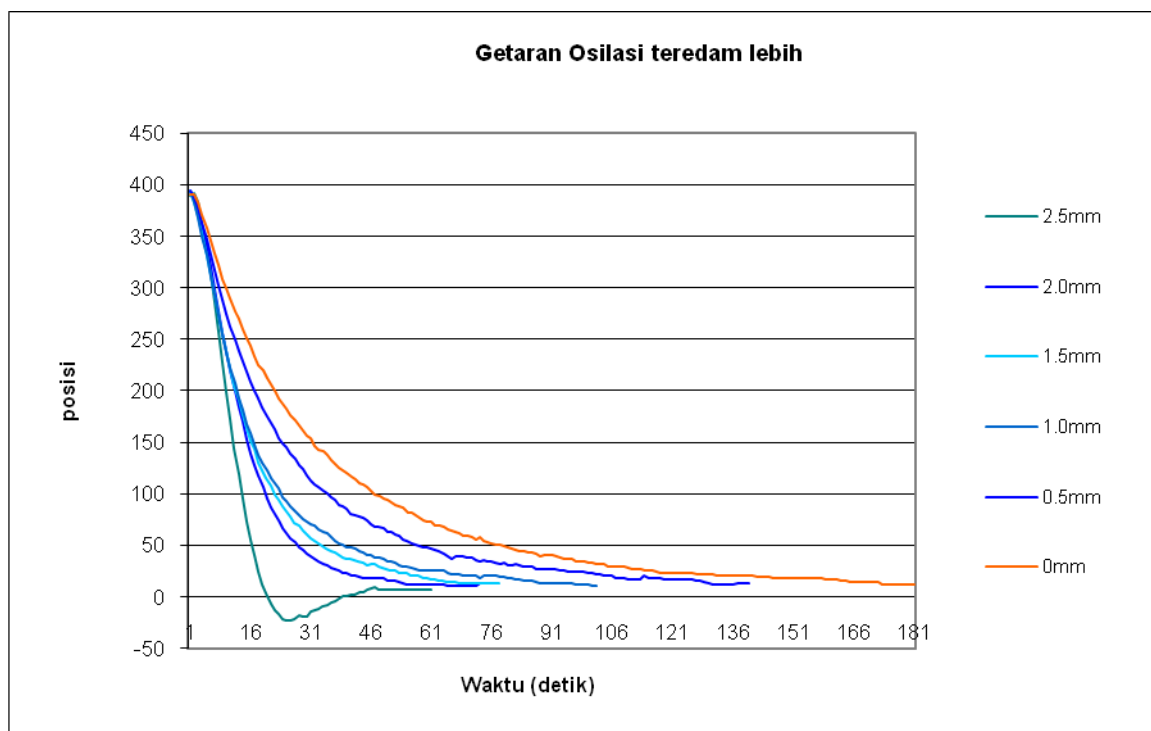
Gambar 9 menunjukkan respons pendulum pada jarak 20mm sampai 2,5mm. Getaran yang terjadi masih termasuk sebagai getaran yang kurang teredam.

Pada jarak antara pendulum yang diberi bandul magnet dengan aluminium sebesar 2,5mm atau kurang menunjukkan hasil getaran yang teredam lebih seperti terlihat pada gambar 10. Getaran yang teredam lebih (*over damping*) terlihat tidak mengalami lewat lebih. Semakin dekat jaraknya semakin besar redaman yang terjadi. Bandul tampak pelan-pelan menuju keadaan stabil.

Redaman tidak terjadi akibat gesekan karena jarak yang terjadi lebih dari 0mm sampai kurang dari 2.5mm, redaman terjadi akibat magnet yang bergerak didekat aluminium. Aluminium sebagai bahan yang bukan feromagnetis tidak menempel pada magnet. Aluminium merupakan bahan konduktor, sehingga adanya medan magnet yang bergerak akan menyebabkan flux magnetik yang menembus (memotong) aluminium dan berakibat adanya arus eddy. Arus Eddy yang terjadi akan menimbulkan medan magnet yang berlawanan dengan medan magnet yang menimbulkan. Hal ini akan berakibat terjadinya perlambatan atau redaman pada pergerakan pendulum. Semakin dekat antara magnet dan aluminium akan mengakibatkan arus eddy yang terjadi semakin besar dan berakibat redaman semakin besar.

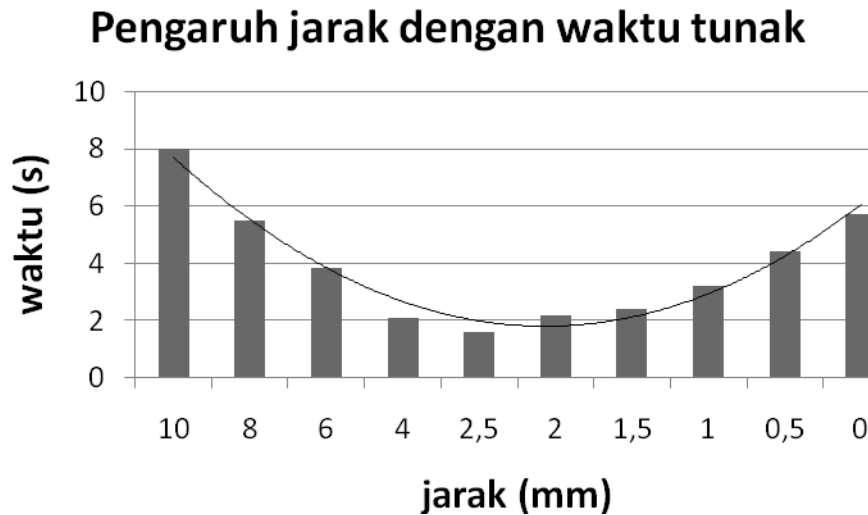


Gambar 9. Getaran osilasi pada jarak 20mm sampai 2,5mm



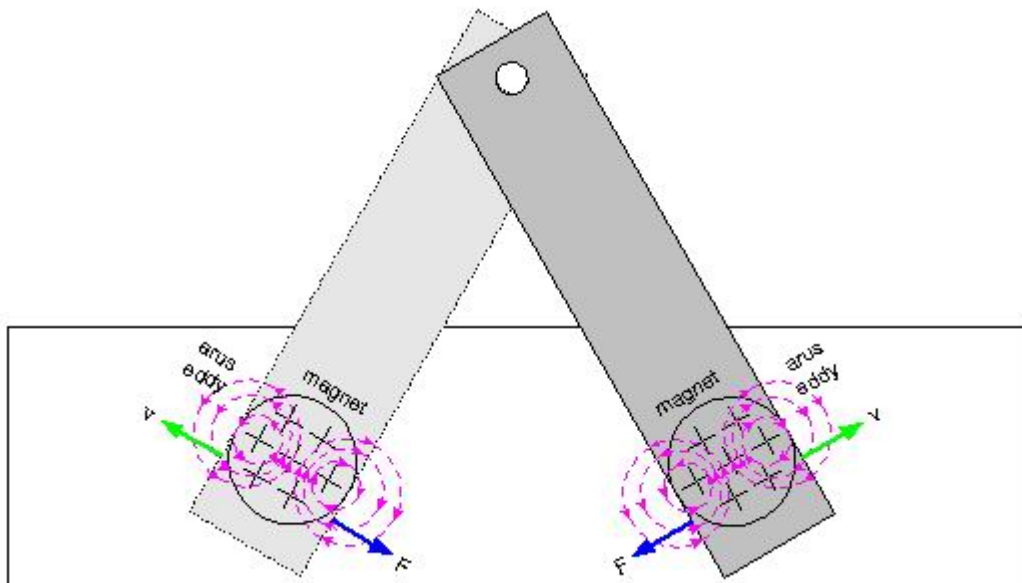
Gambar 10. Bentuk Getaran yang terjadi pada jarak 2,5mm, 2mm, 1mm, 0,5mm dan 0mm

Hubungan antara jarak dengan lama waktu menjadi keadaan tunak disajikan pada gambar (11). Jarak optimal terjadinya getaran osilasi yang cepat selesai dan dengan lewatan yang paling kecil terjadi pada jarak 2,5mm sampai 2mm. Pada jarak 2.0mm tidak terjadi *overshoot* dengan waktu 2,13 detik, sedangkan pada jarak 2.5mm terjadi *overshoot* kecil dengan waktu 1,56 detik . Arah redaman berlawanan dengan gerak pendulum.



Gambar 11. Hubungan antara jarak dengan waktu keadaan tunak

Gambar (12) menunjukkan arah arus eddy yang terjadi pada pendulum magnet. Arah gaya redaman selalu berlawanan arah gerakan pendulum.



Gambar 12. Penjelasan tentang arah arus eddy akibat pergerakan pendulum magnet

## KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Magnet dan aluminium dapat menimbulkan redaman pada pendulum
- Besarnya redaman merupakan fungsi jarak antara magnet dan aluminium
- Gerakan osilasi yang terjadi pada pendulum berupa gerakan osilasi kurang teredam, osilasi teredam lebih dan osilasi teredam kritis

- Osilasi teredam kritis tercapai bila overshoot kecil dan waktu untuk mencapai keadaan tunak (*steady state*) minimal
- Dari percobaan diperoleh jarak yang menghasilkan osilasi teredam kritis yaitu pada jarak 2.0mm

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas Program Studi Elektro USD atas dukungan finansialnya pada penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada Dr. Edi Santosa atas diskusi dan saran yang bermanfaat.

## REFERENSI

1. Kintan Limiansih, Ign Edi Santosa, *Redaman pada pendulum sederhana*, Jurnal Fisika Indonesia No: 51, Vol XVII, Edisi Desember 2013, ISSN : 1410-2994 , (2013)
2. Jae-Sung Bae, Jai-Hyuk Hwang, Jung-Sam Park and Dong-Gi Kwag, *Critical damping Modeling and experiments on eddy current damping caused by a permanent magnet in a conductive tube*, Journal of Mechanical Science and Technology 23 p. 3024~3035, (2009)
3. Brown & Cox, *Innovative Uses of Video Analysis*, The Physics Teacher 47, 145-150 (2009)
4. Lim Jit Ning, *Tracker Modeling in Pendulum*, <http://weelookang.blogspot.co.id/2012/07/tracker-modeling-in-pendulum.html>, diakses Nov 2015.
5. Giancoli, Douglas C. *Physics: Principles with Applications*, 6<sup>th</sup> Ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, (2009)